

ISSN 1677-8464

## Modelagem Numérica de Algumas Variáveis de Clima do Estado de São Paulo

Amarindo Fausto Soares<sup>1</sup>

A utilização de técnicas de geoprocessamento, com o tratamento informatizado de informações, popularizaram-se bastante, tornando-se muito freqüentes nos diversos ramos de atividade por se mostrarem bastante úteis, devido a quantidade de informações processadas em um curto espaço de tempo. Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), são uma dessas técnicas que, entre outras coisas, buscam implementar a representação de propriedades e processos do meio físico natural, com o objetivo de facilitar o seu estudo e compreensão para que se possa atuar sobre o meio ambiente de forma responsável e cooperativa.

Um grande número de informações são produzidas diariamente em serviços e pesquisas. Antigamente essas informações permaneciam armazenadas e estáticas nos arquivos das instituições, disponíveis em livros de registros no seu aspecto mais simples, ocupando um grande espaço físico. Por outro lado também, era bastante difícil localizar, recuperar e manipular essas informações quando necessitava-se desenvolver algum trabalho de pesquisa envolvendo extensas séries históricas com a elaboração de gráficos e mapas.

Atualmente, através da informatização dos processos, foi possível converter essas informações para o formato digital e com o emprego da tecnologia dos SIGs, tornou-

se possível empregar processos de modelagem, utilizando o Modelo Numérico de Terreno (MNT), contidos nessas tecnologias. Esse processo de modelagem permite a criação e uso de modelos matemáticos para representar a distribuição espacial dessas informações, convertendo-as de seu formato numérico.

Segundo Câmara e Medeiros (1998), citado por Felgueiras (1999) os SIGs, como instrumentos computacionais para geoprocessamento, possibilitam a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e ao criar banco de dados georreferenciados.

Um dado espacial, para ser trabalhado dentro de um SIG, deve ser representado por um modelo computacional. Um modelo é uma abstração de fatos ou de entidades do mundo real. A modelagem de dados geográficos é o processo de discretização que converte a realidade geográfica complexa em um número finito de registros ou objetos (Goodchild 1993a), citado por Felgueiras (1999).

Vale salientar que o processo de modelagem visa evidenciar somente a distribuição espacial da informação no seu caráter quantitativo, através do uso de interpoladores específicos para essa tarefa. Cada fenômeno comporta-se diferentemente com cada interpolador.

<sup>1</sup> Eng. Agr. M.Sc. em Agronomia, Pesquisador Embrapa informática Agropecuária, Caixa Postal 6041, Barão Geraldo - 13083-970 – Campinas, SP. Telefone (19) 3789-5780 - (e-mail: fausto@cnptia.embrapa.br)

O objetivo do presente trabalho é eleger e modelar três variáveis de clima do Estado de São Paulo, temperaturas máximas e mínimas e chuvas, utilizando o interpolador, mais apropriado para espacializá-las, contido no módulo MNT do Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

## Materiais

Foram utilizados dados de temperatura máxima e temperatura mínima, em °C, e chuva, em milímetros de água, de 114 estações climatológicas, situadas no Estado de São Paulo, proveniente de coleta de amostras diárias, previamente tratadas em planilhas Microsoft Excel para serem importada pelo SPRING.

O arquivo contendo o contorno do mapa municipal do Estado de São Paulo, foi obtido através do endereço

<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/mapaspr.html#gerais>, (Fig. 1) contendo arquivos de polígonos/identificadores e tabelas e a versão 3.6.02 do SPRING disponível no endereço <http://www.dpi.inpe.br/spring/>.

## Metodologia

### Pré-processamento

Executou-se um pré-processamento através de uma classificação e ordenação dos dados das estações climatológicas através do Excel. Em seguida selecionou-se uma semana de cada época do ano (verão, outono, inverno, e primavera) para aplicação da fórmula do cálculo da média semanal de cada uma das variáveis (temperatura máxima, mínima e chuva). Finalmente renomeou-se, os arquivos resultantes, para o formato .txt, para exportá-los e convertê-los com extensão .spr, compatível para importação.



**Fig. 1.** Mapa Municipal do Estado de São Paulo, localizando, com pontos pretos, as estações que serviram de base para o trabalho.

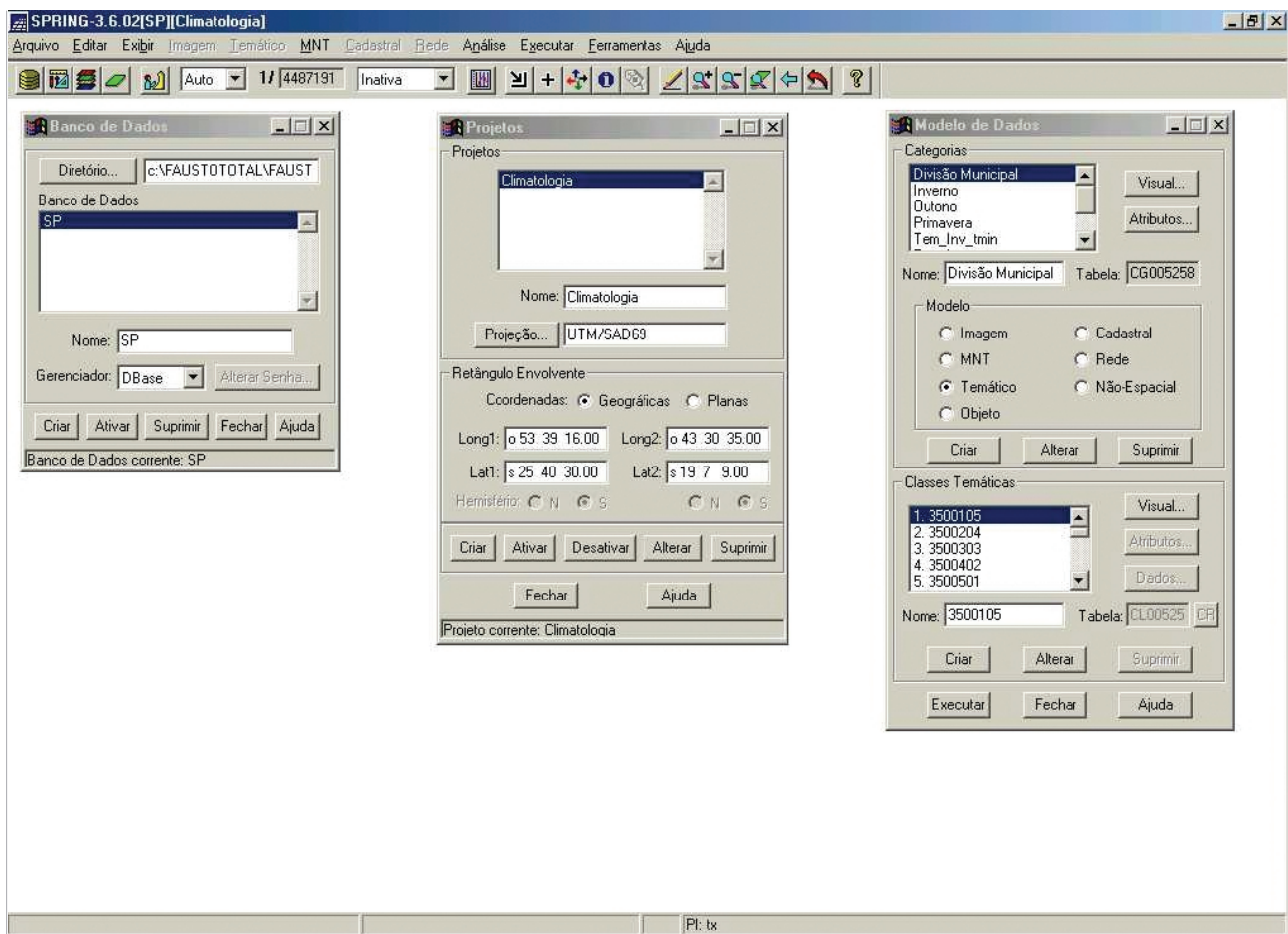
## Processamento

O SPRING executou outra série de rotinas precedendo o processo de modelagem. Foi criado um Banco de Dados chamado **SP**, um Projeto denominado **Climatologia** com o retângulo envolvente e datum fornecidos pelo arquivo, obtido na página do INPE, em <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/mapaspr.html#gerais>.

Posteriormente foi criado um Modelo de Dados de Categoria Temática, chamado **Divisão Municipal**, dentro do qual foi criado um Plano de Informação (PI) denominado **Limite**, para onde foram importados os arquivos de linhas e identificadores, respectivamente, *mun\_97\_sp\_L2D.spr* e *mun\_97\_sp\_LAB.spr*, contendo o contorno estadual e municipal do Estado de São Paulo

(Fig. 1) com os polígonos identificadores, que servirão de base para os pontos georreferenciados das estações meteorológicas em questão (Fig. 2).

Com as planilhas contendo os dados de temperatura máxima, temperatura mínima e chuva, individualizadas em arquivos distintos e já convertidas e importadas para o SPRING, foram criados quatro Modelos de Dados de categoria MNT denominados Inverno, Outono, Primavera e Verão, cada um contendo respectivamente três PIs denominados *tx*, *tmin* e *ch* nos quais seriam confeccionadas grades retangulares, utilizando o interpolador Média Ponderada, e espacializados os dados de temperatura máxima, temperatura mínima e chuva de cada estação, perfazendo um total de doze PIs.



**Fig. 2.** Tela principal do SPRING contendo as janelas de criação do Banco de Dados (1); Projetos (2) e Modelo de Dados (3) que irão propiciar o processo de modelagem dos dados.



## Modelagem Numérica de Terreno

Segundo INPE (2002), o termo MNT, origina-se do inglês Digital Terrain Model (DTM) e é uma representação matemática da distribuição espacial de uma determinada característica vinculada a uma superfície real, em geral contínua, cujo fenômeno que representa pode variar, também chamada de *espacialização*<sup>2</sup>, compreendendo a inferência de valores de um atributo para se obter uma representação computacional do atributo no espaço.

Em ambientes de SIG é comum representar-se atributos com distribuições espaciais na forma matricial. Neste caso diz-se que o atributo foi espacializado segundo uma representação de grade regular Felgueiras, 1999. Para representação dessa superfície torna-se necessária a criação de uma grade de pontos, simulando a superfície de um terreno.

Um modelo é uma abstração de fatos ou de entidades do mundo real. Segundo Goodchild, citado por Felgueiras (1999), um dado espacial, para ser trabalhado dentro de um SIG, deve ser representado por um modelo computacional. A modelagem de dados geográficos é o processo de discretização que converte a realidade geográfica complexa em um número finito de registros ou objetos.

De acordo com Goodchild 1993a; Câmara e Medeiros 1998, citados por Felgueiras (1999) o mundo real é representado segundo duas visões complementares: o *modelo de campos* e o *modelo de objetos*, os quais serão aqui adotados e definidos respectivamente como: a) dados espaciais cujos atributos têm distribuição contínua no espaço (modelo campos); e b) utilizados para representar obras construídas pelo homem (modelo/objetos).

Segundo Felgueiras (1999), o modelo campos pode ser especializado em *campos numéricos* (temperatura, chuva, altitude, etc.), apresentando um número infinito de números e *campos temáticos*, com um conjunto limitado de temas e classes, (classes de solo, textura, vegetação).

Amostras de dados espaciais, modelados como campos, podem ser espacializadas utilizando-se algoritmos de inferência ou interpolação. O procedimento de espacialização consiste em inferir valores do atributo, em posições não amostradas, a partir dos valores observados. Dessa forma, pode-se

obter o valor do atributo em qualquer posição do espaço, ainda que a representação por campo seja discreta. É muito comum, no ambiente de um SIG, a criação de estruturas de representação por *grades regulares retangulares* onde os valores do atributo nos vértices da grade são obtidos por procedimentos de interpolação local a partir do conjunto de amostras (Felgueiras, 1999).

Os algoritmos para inferência de atributos de dados espaciais, representados por amostras pontuais, podem ser classificados em dois tipos básicos: *interpoladores determinísticos* e *interpoladores estocásticos*. Os valores inferidos pelos interpoladores determinísticos são tratados como dados sem erros, ou seja, os valores obtidos não estão contaminados por erros nos dados de entrada ou pelo algoritmo de interpolação. Esta é a grande desvantagem desses interpoladores em relação aos estocásticos, os quais utilizam as ferramentas da geoestatística para inferências de valores de atributos com estimativas de incertezas (Felgueiras, 1999).

Os algoritmos de interpolação determinísticos mais utilizados na prática são os de média móvel ponderada (Burrough, 1987; Felgueiras, 1987; McCullagh, 1988), citados por Felgueiras (1999).

Na geração de grades são utilizados interpoladores contidos no próprio programa, que irão simular a distribuição espacial da variável em questão. Foram testados os cinco interpoladores (Fig. 3): a) *vizinho mais próximo*; b) *média simples*; c) *média ponderada*; d) *média ponderada por quadrante*; e) *média ponderada por cota e por quadrante*, porém somente os três primeiros conseguiram espacializar, sendo selecionado o interpolador *média ponderada* onde o valor da cota de cada ponto da grade é calculado a partir da média ponderada das cotas dos 8 vizinhos mais próximos a este ponto, com atribuição de pesos variados para cada ponto amostrado através de uma função que considera a distância do ponto cotado ao ponto da grade INPE (2002).

Foram tratados no Excell, convertidos em ASCII e posteriormente importados para o Spring os doze arquivos correspondentes aos dados das três variáveis em questão: temperatura máxima, temperatura mínima e chuva, das quatro estações do ano: inverno, outono, primavera e verão.

Foi acionado o módulo MNT para gerar grades retangulares associadas ao interpolador escolhido, para que sejam espacializados os dados contidos nos doze arquivos importados. Após a criação da grade, o Spring gera, simultaneamente, uma grade e uma imagem exibindo representação espacial.

<sup>2</sup> Significa atribuir valores de um atributo para se obter uma representação computacional no espaço. Os SIGs representam atributos com distribuições espaciais na forma matricial, num processo de espacialização segundo uma representação de grade regular.



**Fig. 3.** Janela do módulo MNT, mostrando as opções de interpoladores para geração de grade no Spring. Observa-se que existem cinco interpoladores disponíveis.

Efetua-se a modelagem e espacialização de cada uma das variáveis envolvidas no estudo, aplicando o interpolador média ponderada contido no módulo MNT do SPRING, em uma semana do verão, do outono, do inverno e da primavera, utilizando-se a média semanal, com o objetivo de observar a distribuição espacial dentro do Estado em cada uma dessas semanas e estações do ano (Fig. 4, 5 e 6).

Em modelagem numérica executou-se as espacializações em um Modelo de Dado de categoria MNT com arquivos de pontos no qual os valores de níveis de cinza, atribuídos pelos interpoladores, extrapolam os limites da área em estudo. Para particularizar a espacialização dentro dos limites da área em estudo, lança-se mão do módulo "Ferramentas", dentro do qual "Recortar Plano de Informação".

O Spring executa essa tarefa através de uma opção "Selecionar Máscara" que necessita de um arquivo de linhas para fazer o referido recorte através da seleção do polígono que irá servir de máscara para recortar o PI, porém o arquivo de linhas disponível possui 645 polígonos representando os municípios do Estado de São Paulo, executando o recorte da máscara somente no polígono onde o mouse foi acionado.

Para solucionar esse problema acionou-se a ferramenta "Mosaico", contida no módulo "Temático". Essa

ferramenta executa uma cópia de informações entre PIs.

Primeiramente criou-se um PI denominado Limite1, para onde seriam copiadas todas as linhas do PI Limite, através da ferramenta Mosaico. Em seguida acionou-se a opção "Editar" "Vetorial" executando-se uma "Edição Topológica" do PI Limite1, escolhendo-se a opção "Eliminar área".

Eliminou-se a área contendo as linhas da divisão municipal do PI Limite1, permanecendo somente o contorno do Estado de São Paulo.

Finalmente com um PI contendo somente o contorno do Estado, executou-se o recorte dos PIs contendo todas as espacializações.

## Resultados

Os resultados obtidos são mostrados acompanhados das Fig. resultantes dos procedimentos.

Nas Fig. são mostradas as imagens resultantes da espacialização dos dados de temperatura máxima (Fig. 4), temperatura mínima (Fig. 5) e chuva (Fig. 6) respectivamente no inverno, outono, primavera e verão.

Todas as imagens resultantes da espacialização dos dados climáticos em estudo foram recortadas dentro do módulo "Ferramentas" opção "Recortar Plano de Informação", escolhendo-se "Selecionar Máscara", utilizando o PI Limite1 como máscara, contendo somente o contorno de Estado de São Paulo.

As imagens resultantes das referidas espacializações são representadas em níveis de cinza. Esse tipo de representação estabelece que o valor absoluto de cada uma variável representada, estão dispostos em uma escala variando de 0 (zero) preto a 255 branco, onde existem 256 nuanças de cinza. As 256 nuanças referem-se ao número fixo de campos ou bytes (2<sup>8</sup>) que os computadores têm capacidade de armazenar qualquer valor numérico.

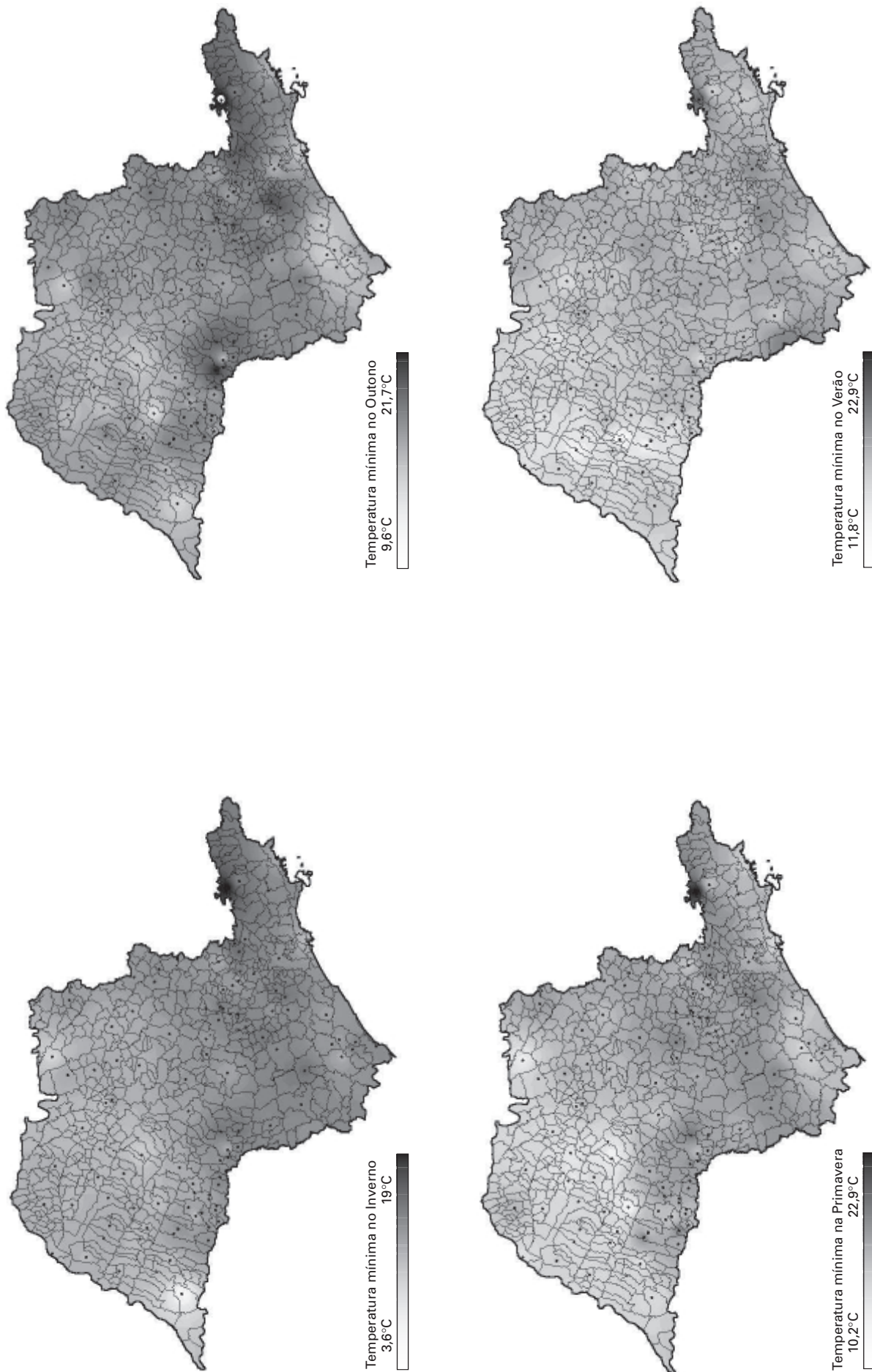
Vale notar que as Fig. 4 e 5, apresentam tons mais claros de cinza, denotando que as temperaturas máximas e mínimas em qualquer estação do ano permanecem em valores não muito próximos a 0 (zero), isto é, temperaturas muito baixas. Por outro lado a Fig. 6, apresenta imagens com tons bastante escuro, demonstrando uma pronunciada ausência de chuvas em qualquer estação do ano.

Através dos resultados espacializados na Fig. 6, pôde-se concluir que está havendo uma diminuição no índice pluviométrico da região.

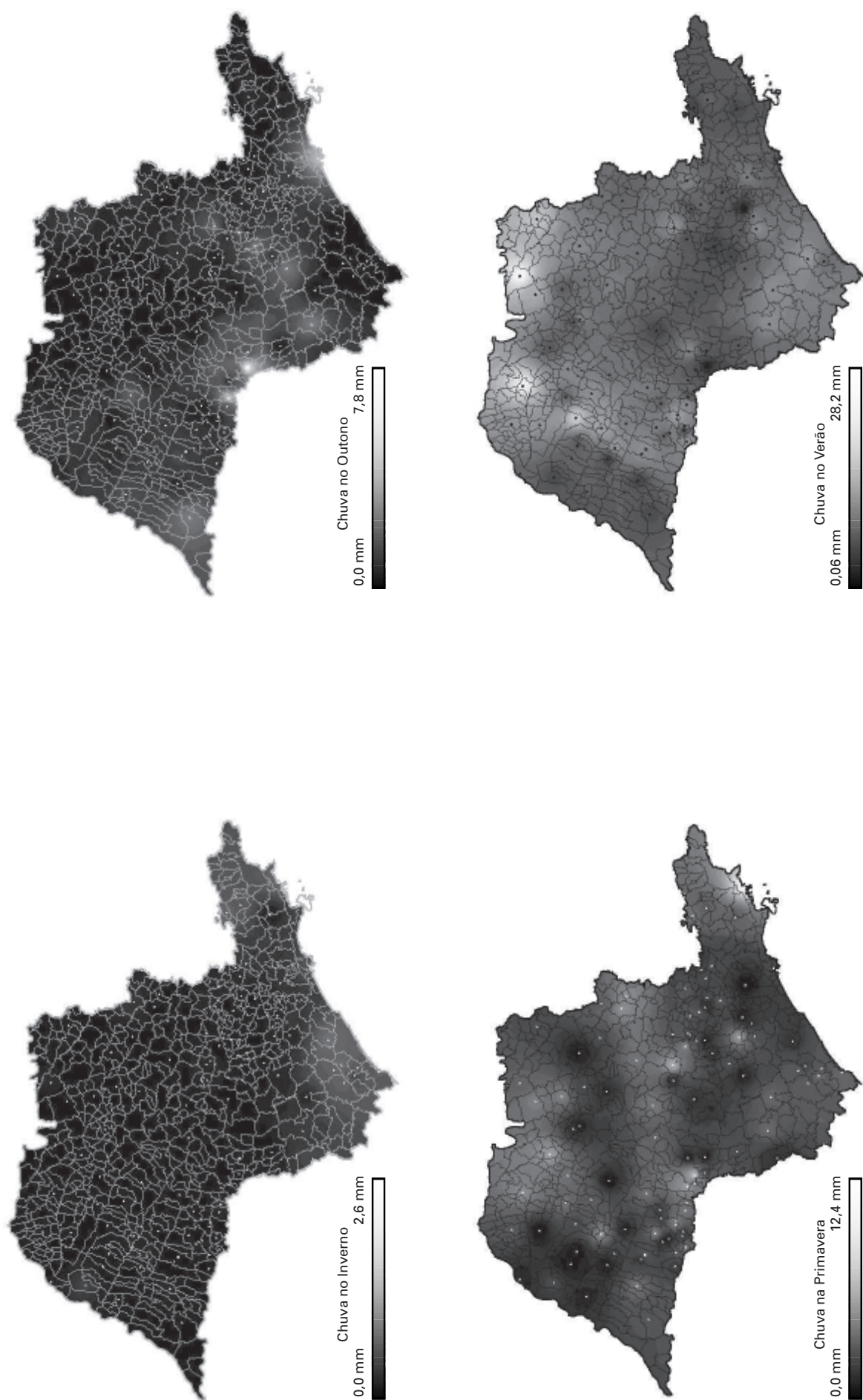


**Fig. 4.** Imagens obtidas por meio de modelagem numérica, utilizando o interpolador média ponderada, espacializando dados de temperatura máxima no inverno, outono, primavera e verão.





**Fig. 5.** Imagens obtidas por meio de modelagem numérica, utilizando o interpolador média ponderada, espacializando dados de temperatura mínima no inverno, outono, primavera e verão.



**Fig. 6.** Imagens obtidas por meio de modelagem numérica, utilizando o interpolador média ponderada, espacializando dados de chuva no inverno, outono, primavera e verão.



## Comentários

O processo de modelagem numérica de variáveis ambientais, envolve pré-tratamentos e tratamentos demorados e minuciosos, com o objetivo de individualizar cada variável.

Na elaboração de modelos numéricos criam-se categorias MNT através da espacialização de pontos amostrais, sem representação vetorial. Por outro lado, nem sempre nesses processos se possui o contorno/ limite da área, de modo que é necessário fazer compatibilização de arquivos e escalas para encaixá-los dentro do Projeto criado no Banco de Dados do SPRING.

Por outro lado como as atuais ferramentas do SPRING não desempenham a função que o usuário necessita, tem-se que lançar mão da criatividade e utilizar outras ferramentas adaptando funções para conseguir o resultado esperado.

Foi necessário criar um novo PI com a divisão municipal, através da ferramenta Mosaico, do qual foram extraídas todos os polígonos representando os municípios, para que servisse de máscara e fossem feitos os recortes nos PIs em que foram feitas as espacializações das variáveis. Existe outra alternativa para esse caso que consiste em importar o mesmo arquivo nomeando um novo PI.

## Referências Bibliográficas

FELGUEIRAS, C. A. **Modelagem ambiental com tratamento de incertezas em sistemas de informação geográfica**: o paradigma geoestatístico por indicação. 1999. 212 f. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

INPE. **Spring**: utilizando o Spring. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/entrada.htm#acoes>>. Acesso em: 29 nov. 2002.

### Comunicado Técnico, 23

**Embrapa Informática Agropecuária  
Área de Comunicação e Negócios (ACN)**  
Av. André Tosello, 209  
Cidade Universitária - "Zeferino Vaz"  
Barão Geraldo - Caixa Postal 6041  
13083-970 - Campinas, SP  
Telefone (19) 3789-5743 - Fax (19) 3289-9594  
e-mail: sac@cnptia.embrapa.br

**1ª edição**  
2002 - on-line  
Todos os direitos reservados

### Comitê de Publicações

**Presidente:** José Ruy Porto de Carvalho  
**Membros efetivos:** Amarindo Fausto Soares, Ivanilde Dispatto, Luciana Alvim Santos Romani, Marcia Izabel Fugisawa Souza, Suzilei Almeida Carneiro  
**Suplentes:** Adriana Delfino dos Santos, Fábio Cesar da Silva, João Francisco Gonçalves Antunes, Maria Angélica de Andrade Leite, Moacir Pedroso Júnior

### Expediente

**Supervisor editorial:** Ivanilde Dispatto  
**Normalização bibliográfica:** Marcia Izabel Fugisawa Souza  
**Capa:** Intermídia Publicações Científicas  
**Editoração Eletrônica:** Intermídia Publicações Científicas